

1.08.2024, Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej
„Theoretical and Phenomenological Cosmology:
Early Universe and Gravitational Wave Physics”
autorstwa pani
Carolina Moreira Delgado

Praca została wykonana pod naukowym nadzorem dra hab. Jakuba Gizbert-Studnickiego oraz dra Chunshan Lin, mieści się na 139 stronach, składa się na nią siedem rozdziałów i bibliografia. Pierwszy rozdział ma charakter wstępny, zaś rozdział ostatni zawiera podsumowanie i dyskusję otrzymanych rezultatów. Pozostałe rozdziały przedstawiają kolejne oryginalne rezultaty pracy. Każdy z rozdziałów dotyczy innego zbadanego zagadnienia. Są napisane według (niezaprzeczalnie dobrego) schematu: prezentacja metodologii oraz wyników poprzedzona obszernym merytorycznym i technicznym wprowadzeniem oraz zakończona obszerną i wyczerpującą dyskusją. W siedmiu publikacjach zawarte zostały najważniejsze rezultaty badań przeprowadzonych przez panią Delgado. Dwie z nich są samodzielne, zostały opublikowane przez czasopisma *Introdução à cosmologia quântica* oraz *Physical Review D*. Kolejne trzy publikacje są wspólne pani Delgado z dwoma lub trzema współautorami, nazwiska autorów uporządkowane są na nich w kolejności alfabetycznej, czasopisma to: *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* oraz *Physics of the Dark Universe*. W kolejnych dwóch pracach opublikowanych w *Physical Review D* oraz *Physical Review Letters* autorami wiodącymi byli B. van Tent oraz P. A. P. Molinari. Prace współautorstwa pani Delgado były cytowane prawie 40 razy (nie licząc autocytowań).

Wspólnym tematem badań przedstawionych w pracy jest kosmologia (i astrofizyka w ostatnim rozdziale). Pierwsza grupa badanych zagadnień dotyczy modelu wszechświata, w którym wielki wybuch zastąpiony jest wielkim odbiciem. Tego typu modele czasoprzestrzeni kosmologicznej wyprowadzane są z modeli kwantowych. Stan semiklasyczny takiego modelu opisuje tensor metryczny zmodyfikowany kwantowymi poprawkami powodującymi, że ewoluowany wstecz (od chwili obecnej) czynnik skali nie zeruje się – osiąga minimalną, nie zerową wartość, a następnie znów rośnie. Efekt ten jest szczególnie dobrze zrozumiały w przypadku pętlowej kosmologii kwantowej. W tym modelu kwantowa poprawka stosuje się bezpośrednio do równania Friedmana i zapewnia, że gęstość energii ograniczona jest z góry przez gęstość krytyczną, stałą modelu o wartości rzędu gęstości Plancka. Ta sama gęstość krytyczna jest też górnym ograniczeniem dla kwantowego operatora gęstości energii, co dopełnia konsystencji modelu. W innych modelach wszechświata z odbiciem większy nacisk kładziony jest na sam czynnik skali, natomiast gęstość energii bywa równa gęstości wody. W omawianej pracy w Rozdziale 2 zaproponowano nowy kwantowy model kosmologiczny. Uczyniono to przy wykorzystaniu standardowego równania Wheeler’a-DeWitt’a oraz mniej dla mnie zrozumiałego przejścia semiklasycznego. Warto byłoby sprawdzić, do której grupy modeli należy ten nowy model. W pracy wykazano, że proponowany model generuje obserwowaną amplitudę skalarnego widma mocy. Jednak faza ta jest bliższa de Sittera niż wskazują na to obserwacje. Dodatkowo, stosunek tensora do skalara jest niezgodny z obecnymi ograniczeniami kosmologicznymi lub, innymi słowy, amplituda widma mocy tensora jest zbyt wysoka. W pracy wymienione są różne możliwe modyfikacje modelu, które mogłyby poprawić te negatywne wyniki. Kolejnym problemem zbadanym w odbijającym się wszechświecie było zredukowane bispektrum CMB oraz odpowiadający mu SNR. Porównanie z danymi z Plancka zaprowadziło do wniosku, że badane modele z odbiciem są wykluczone.

Kolejnym badanym zagadnieniem była efektywna teoria pola holograficznej ciemnej energii (HDE), jako kandydata na ciemną energię. Zbadano jej wpływ na inflację związaną z powoli zmieniającym się polem. Następnie obliczono perturbacje kosmologiczne i odpowiadające im widma mocy skalarów i tensorów. Wyniki doprowadziły do wniosku, że inflaton dominuje nad holograficznymi ciemnymi składnikami promieniowania, czyniąc HDE kompatybilnym z inflacją i scenariusz ten jest zgodny z obecnymi ograniczeniami CMB dla widm mocy. Tematem kolejnych rozdziałów pracy są fale grawitacyjne. Zbadano wzbudzenie pola elektromagnetycznego przez falę grawitacyjną w ośrodku o prędkości światła $c_s < 1$. Wykazano, że fale grawitacyjne mogą być tłumione dzięki rezonansowi parametrycznemu. Analiza została przeprowadzona w czasoprzestrzeni Minkowskiego zaburzanej przez falę grawitacyjną, przedyskutowano jednak możliwości uogólnienia na rozszerzające się tło. Ostatnim zagadnieniem badanym w pracy było wzmocnienie fal grawitacyjnych w wyniku rezonansu parametrycznego z potencjałami grawitacyjnymi halo ultralekkiej ciemnej materii (ULDM). Zbadano różne masy ultralekkich aksjonów (ULA) i gęstości halo, rozważając ich implikacje dla obecnego wzmocnienia fal grawitacyjnych. W tym kontekście zbadano wzmocnienie fali grawitacyjnej i odkryto, że znaczące wyniki można osiągnąć tylko w gęstych regionach w halo, które mogą powstać na przykład z powodu obecności czarnej dziury. Możliwe źródła fal grawitacyjnych to pierwotne perturbacje i supermasywne układy podwójne czarnych dziur, biorąc pod uwagę częstotliwości, które są wzmacniane dla mas aksjonów od 10-22eV do 10-27eV.

Podsumowując, w pracy zbadano rozmaite aspekty kosmologii oraz jej zmodyfikowanych modeli. Szczególny nacisk położono na dynamikę wczesnego Wszechświata oraz zjawiska fal grawitacyjnych. Uderza różnorodność tematów oraz ich aktualność: od standardowej Λ CDM przez kosmologie zmodyfikowane grawitacją kwantową i modele holograficzne, do fal grawitacyjnych i ciemnej materii zagęszczającej się od silnego pola grawitacyjnego czarnej dziury. Obszerne wstępy do kolejnych badanych zagadnień pozwalają dobrze umieścić je w szerokim kontekście kosmologii, teorii grawitacji klasycznej i kwantowej, teorii fal grawitacyjnych. Rezultaty i ich wyczerpujące dyskusje rzucają jasne światło na fundamentalne aspekty i wyzwania, wskazując potencjalne kierunki dalszych badań, wnosząc istotny wkład do trwającego dyskursu w kosmologii teoretycznej i fenomenologicznej oraz teorii grawitacji.

Z przyjemnością wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do dalszych etapów przewpdu doktorskiego.

Podpisany elektronicznie przez
Jerzy Lewandowski; Uniwersytet Warszawski
07.08.2024
22:30:32 +02'00'